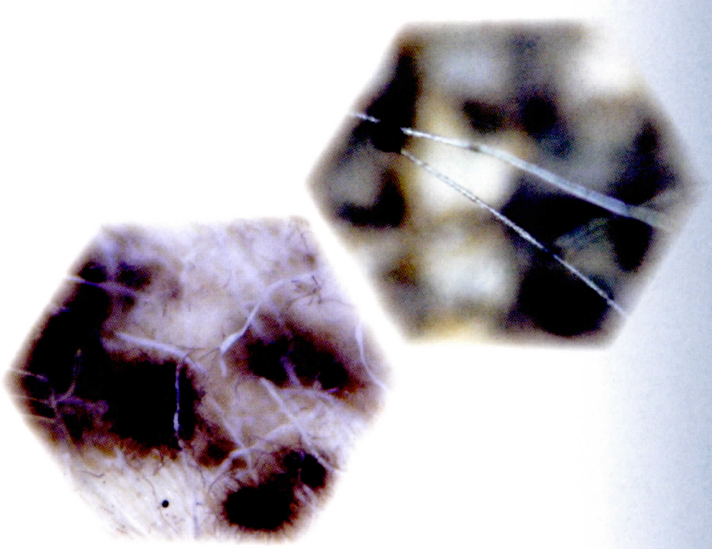
文化財展示収蔵施設における
カビのコントロールについて

Control of Molds in Museum Environments: Basic Strategies



東京文化財研究所 文化遺産国際協力センター

National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo
Japan Center for International Cooperation in Conservation

文化財展示収蔵施設における
カビのコントロールについて

Control of Molds in Museum Environments: Basic Strategies

(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

はじめに

博物館や美術館にとって、資料を適切な環境で保存・展示することは主要な役割のひとつである。一般的な博物館環境において、収蔵品や歴史資料に害を及ぼす微生物のうち、最も問題になるのはカビである。カビ以外の微生物も文化財に影響を及ぼすが、細菌類や藻類などは水分が豊富な環境でないと生育できないのに対し、カビは室内環境で容易に生育する。したがって、夏季に高温多湿となる日本では、カビ対策に頭を悩ませる資料管理担当者は多い。

近年、環境保全問題への取り組みや、人体への影響から、2004 年末の先進国における臭化メチルの生産・消費の全廃を受け、カビが発生すれば殺菌燻蒸で対処する、という従来の考え方から、総合的有害生物管理（IPM, Integrated Pest Management）の導入への転換が試みられており、博物館などにも浸透しつつある。

本冊子は博物館や美術館、また図書資料館などの現場においてカビ問題に直面している方々にガイドラインとして活用していただくことを目的とし、博物館などにおけるカビのコントロールについて基本的なことがらをまとめたものである。そのため、文化財保存収蔵施設におけるカビ被害防止、被害の早期発見、対応について、博物館等の現場でカビをコントロールする場合の基礎知識とともに、併せてカビが人体へ及ぼす危険性についても、その対策を含めて簡潔に記述することに努めた。

本冊子は、文化財に発生するカビの、これまでの研究を総括的に見直したものではなく、また一般的な防カビ法の最新の研究を紹介したものではないことを、あらかじめお断りしておく。

最後に、本冊子の刊行にあたりご尽力を賜った関係各位、特に Canadian Conservation Institute の Tom Strang 氏に深く感謝申し上げる。

本冊子は、木川りか・間渕創・佐野千絵著「文化財展示収蔵施設におけるカビのコントロールについて」（文化財保存修復学会誌 48, pp.98-113 (2004)）を再構成したものである。

目 次

はじめに …… 1

目次 …… 2

PART 1　カビについて …… 4

1.　文化財を加害するカビ …… 4

1.1. カビとは …… 4

1.2. カビ被害の特徴 …… 5

2.　カビの発生する原因 …… 7

2.1. 水分 …… 7

素材中の水分 …… 7

空気中の水分 …… 7

結露 …… 8

2.2. 栄養分 …… 8

素材自体が含む栄養分 …… 8

汚れ …… 9

3.　人体に対するカビの影響 …… 10

3.1. 病原性 …… 10

3.2. アレルギー反応 …… 10

(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

PART 2　カビの予防について ……11
1.　温湿度の管理 ……12
　1.1. 温湿度のモニタリング ……12
　1.2. 水分・湿度の調整 ……13

2.　展示収蔵室内空気の清浄化 ……15

3.　見回りと点検 ……17

4.　カビ発生時の対処 ……19
　4.1. 人体の安全と作業場所の確保 ……20
　4.2. カビの被害状況の把握と記録 ……21
　4.3. 特定の資料へのカビの発生など、被害が限定されている場合 ……22
　4.4. 大規模な被害の場合 ……23

5.　殺菌・燻蒸について ……25
　5.1. 殺菌剤について ……25
　5.2. 燻蒸について ……26

まとめ ……29

参考文献 ……30

PART 1　カビについて

1. 文化財を加害するカビ

1.1. カビとは

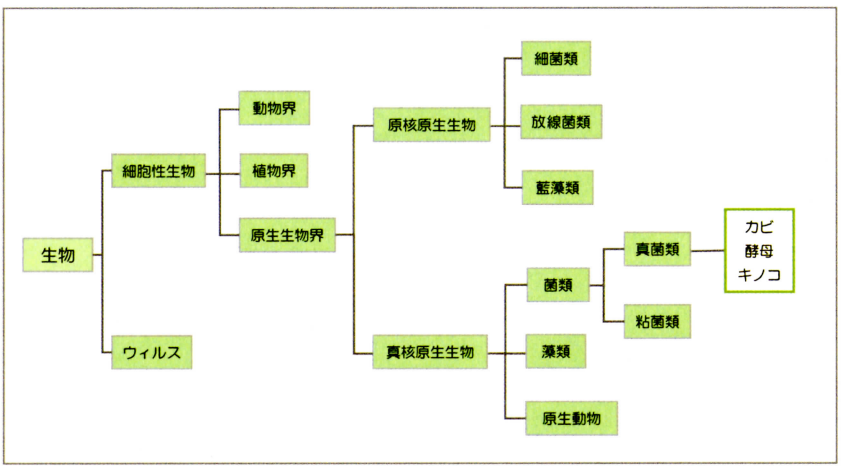


図1　生物分類上におけるカビの位置

カビは、菌類中の真菌類とよばれる微生物のうちの一群である。真菌類とは、単細胞または菌糸からなり、細胞壁を持つものである。真菌類のうち、通常の状態が単細胞であるものは酵母（yeasts）とよばる。菌糸により成長するものを一般にカビ（molds または糸状菌 filamentous fungi）とよび、そのうち肉眼で観察できる大型の子実体をつくるものをキノコ（mushrooms）とよんでいる。但し、これらは分類学上の用語ではない。たとえば、酵母とカビは重複した部分があり厳密な区別はできない。また、キノコはカビの生活環の一時期であるともいえる。

真菌類や粘菌類といった菌類は植物のように光合成を行わないため、栄養分である有機物を自力でつくることができず、まわりの環境から栄養分を吸収して生育する。つまり、カビなどの菌類が生えているということは、生えている素材の基質が分解され、使用されているということに他ならない。

(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

カビは菌糸をつくり、成長して胞子を形成し、胞子を飛散させて増殖する。胞子は空気の流れにのって運ばれ、あらゆる場所に付着するが、付着した環境が生育に適さなければ、カビの胞子は発芽・生育することはない。適度な水分と栄養分があれば胞子は発芽し、菌糸を伸ばして、再び胞子を生産する。そして同じサイクルが繰り返され、被害が増大することになる。一般に胞子の大きさは 1 μm [註1] から 200 μm ほどである。

いわゆるキノコをつくる木材腐朽菌は、かなり水分の多い環境で生育し、屋外の木造文化財を腐朽させることが多い。いったん加害されると木材の強度が失われるため、深刻な被害をもたらす。

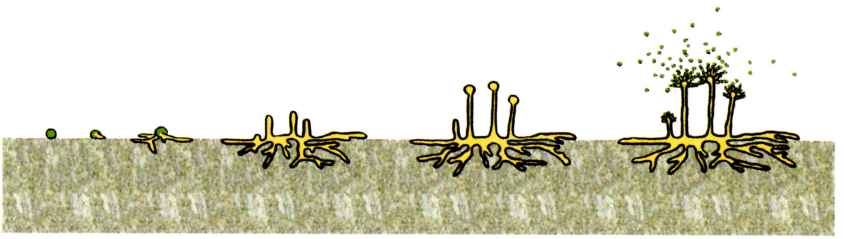


図２　カビの生育過程

1.2. カビ被害の特徴

カビによる被害として、資料へしみを付ける被害と、酵素分解や、菌糸の物理的な侵入による、素材そのものの劣化があげられる。

カビによるしみには、胞子や菌糸そのものが沈着して色を付ける場合と、代謝物の放出・分解の過程で資料を変色させる場合がある。また、紙資料などでは、カビの代謝物の残存が、フォクシングとよばれる通常茶褐色の点状のシミになり、ダメージの原因になることもある。

しみはさまざまな色を呈するが、その色味はカビの種類や生育している素材の質、微量金属の存在、数種のカビの共存によって変化する。カビの胞子や代謝物による着色は、化学的にも物理的にも、除去が非常に困難である場合が多い。

カビは酵素により素材を分解し、基材から栄養分を吸収し成長する。したがって、カビ

のコロニー（菌糸の集合体）ができる段階では、既に素材の組織内部にまで菌糸を伸ばし、色素産生および着色胞子を着生し、劣化させている。たとえば絵画では、膠などの膠着材にカビが生育するとそれらがもろくなり、絵の具の剥落が起きやすくなる。このようなカビ被害は、不可逆の生物反応で、決して元に戻らない劣化なのである。

図３　彩色された絹本に生えたカビ

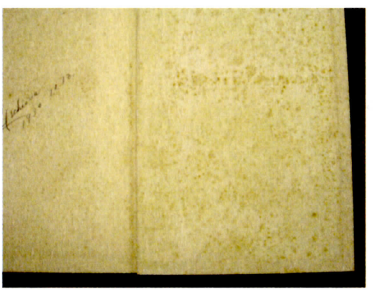


図４　フォクシング

註１）１㎛（マイクロメートル）＝ 1/1000 ㎜

(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

2. カビの発生する原因

2.1. 水分

素材中の水分

カビの生育には水分が不可欠である。カビは生育している素材から水分を吸収するので、素材に含まれる水のうち、水の量とその状態が生育可能か否かを左右する。

環境の相対湿度（RH = Relative Humidity[註2)]）が同じでも、材質により、水を含みやすいものと含みにくいものがある。素材中の水の量が少ないと当然微生物は水を利用しにくい。

また、素材に含まれる水が素材自体に強く吸着されているような場合には、カビが水をうまく利用できないことが起きうる。

空気中の水分

空気中の水分量は一般に相対湿度で表される。通常、環境の相対湿度が高くなると、資料の含水率も上がるため、カビがより生えやすい状況になる。

博物館環境にある文化財に発生するカビには、85%RH 以下で発芽・増殖できる“好乾性のカビ”(xerophilic fungi)と呼ばれる種類のカビが見られる。好乾性カビであっても、そのほとんどは約 65%RH が生育限界とされているが、60 ～ 62%RH でも生育するカビも報告されている。

また、「温度」と「相対湿度」に加えて、カビが発生するまでその環境におかれた「時間」も考える必要がある。

図５のグラフより、室温において相対湿度 100%RH の環境では、カビは２～３日で肉眼で確認できる程度に発生することが示されている。90%RH でおよそ１週間、80%RH でおよそ２週間、70%RH で３～４ヶ月、65%RH では３年くらいでカビが発生することが分かる。

カビの被害を予防するためには、基本的に相対湿度を 60%RH 以下に保たなくてはならない。しかし、万が一それよりも高い湿度条件に一時的に保管しなければならない場合にも、カビが発生するまでの時間を把握しておけば、カビ被害防止のための具体的な管理計画を立てることが可能となる。

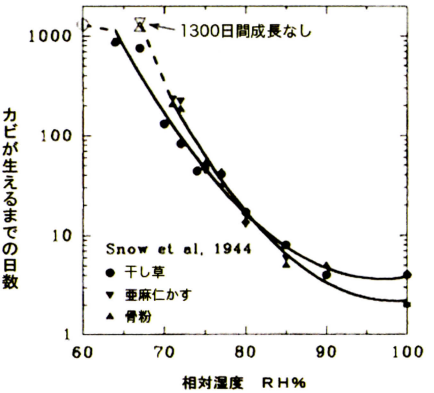


図5　室温において栄養価の高い試料にカビを目視できるまでの期間と、環境の相対湿度との関係
（引用：Michalski S. "Relative Humidity: A Discussion of Correct / Incorrect Values"，1993）

結露

結露とは、空気が温度の低い物体に触れることによって冷やされ、空気の水蒸気を含むことができる許容量が少なくなり、限界を超えた分の水蒸気が液体の水に変わる現象である。

環境全体の相対湿度が低くても、部分的に温度差があると結露が生じやすい。たとえば、冷房の冷気があたる場所や床面などは結露しやすく、カビが発生しやすい。また、外壁に面した壁は、外気温の影響を受けて、室内環境との温度差が顕著となり、結露を生じやすい。そこへ収蔵棚や保管箱などを直接置くとカビの害を被ってしまう。そのため、可能な限り屋外の影響を受ける外壁面との接触を避け、収蔵庫を建物の中心部に配置したり、収蔵庫を廊下で囲んだ設計にすることが望ましい。

2.2. 栄養分

素材自体が含む栄養分

文化財を構成する素材には、紙・木材・絹・毛、糊・膠、紙のなかのサイジング剤など、カビの栄養源となる有機物が多く含まれる。修復などの作業で新しい糊や膠などを使用す

(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

ると、もとの作品よりもカビや害虫に加害されやすくなる例も多い。

また、植物標本、動物標本、革製品、天然繊維なども、微生物による劣化を受けやすいといえる。

素材によるカビの生えやすさの違いには、先述のとおり、微生物が利用できる水分の量と状態がかかわっており、実際にはカビの発生状況は、水分と栄養分の双方に左右される。

汚れ

手垢や埃といった、資料や作品に付着した汚れは、カビにとって栄養分となり得る。手垢や埃には、カビの栄養分となる細かなゴミ（ダニの死骸、ヒトの皮膚の微少片など）と、カビの胞子がたくさん含まれており、カビの生育できる湿度条件が整ったときに、そこからカビの発生するリスクが大きくなるといえる。ブロンズ像などの金属製品、ガラス類など、通常はカビの発生しにくい無機材質にも、手垢や埃が付くとカビが発生することがある。

註 2）相対湿度（RH ＝ Relative Humidity）
空気中に含まれる水蒸気の量と、その温度の空気が含み得る水蒸気の最大量との比率。これに対し、1 気圧で 1 ㎥の空気中に含まれる水蒸気量をグラムで表したものを絶対湿度という。

3. 人体に対するカビの影響

資料に発生したカビを処置する際、通常はカビの同定を必要としない。しかしカビには人体に有害なものもある。たとえ病原性の低いカビであっても、カビの粉塵全般にアレルギーを起こす危険性があるため、できるだけ吸入しないよう、マスクやゴーグルの着用など、計画の段階から安全性を確保することがきわめて重要である。

3.1. 病原性

病原性を持つカビとして、*Aspergillus fumigatus* がよく知られているが、それ以外にもマイコトキシンと総称される、毒素を産生するカビもある[註3)]。

強力な病原性を有する一部のカビを除き、健康な大人がカビによって重症の感染症になることは稀であるが、身体の免疫力が低下している場合、多くのカビが感染症を引き起こす危険性を持つ。したがって、特定のカビだけ気をつければすむというものではなく、多量のカビに直接接触するような状況は危険である。また、衣類などにカビを付着させたまま、子供や免疫力が低下している人と接触することを避けるなどの配慮が必要である。

3.2. アレルギー反応

アレルギー反応はカビの粉塵によって起こるため、燻蒸殺菌処理後のカビであっても、接触によって感染症を起こし得る。

カビによるアレルギー反応の症状は、ぜんそく、咳、鼻水、目の充血などで、いったん過敏性となると、カビを吸入するたびに症状が再発してしまう。吸入はもちろん、皮膚への接触も極力避けなくてはならない。

註 3）*Stachybotrys* 属，*Aspergillus* 属，*Penicillium* 属，*Fusarium* 属，*Trichoderma* 属，*Memnoniella* 属などの一部

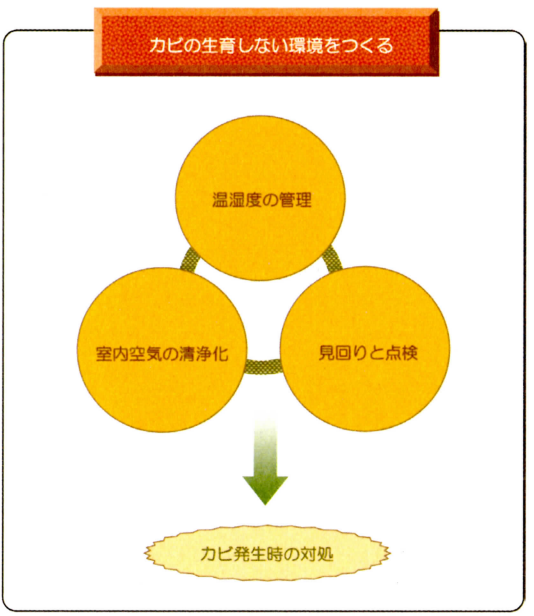
(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

PART 2　カビの予防について

かつての資料保存の考え方は、被害が生じた後に燻蒸処理などを行う、いわば対症療法のようなものであった。しかし、人体や資料、環境への薬害が懸念されるようになり、1990 年代から、化学薬品だけに頼らずに、生物被害を未然に防ぐ考え方として、IPM が一般的になりつつある。

IPM（Integrated Pest Management）は、総合的有害生物管理と訳される。日常の管理を徹底することで被害を未然に防ぎ、リスクを最小限に抑えるという考えにのっとった生物被害対策法である。

もしカビの予防として、防カビの薬剤を塗布すれば、資料の変色や変質を招きかねない。したがってカビの予防においては、水分制御と定期的な清掃による環境の清浄化が、最も重要で効果的な対策である。



1. 温湿度の管理

1.1. 温湿度のモニタリング

Point

- **温湿度を通年計測し、記録する**
- **複数個所で計測し、温湿度の分布を把握する**

カビの発生しない環境づくりは、対象となる場所の温湿度を年間を通して測定・記録し、環境の状態を把握することから始める。たとえ空調設備のある部屋でも、空調機を制御する温湿度センサーが、部屋全体の状態を感知できる箇所に設置されているとは限らず、その結果、温湿度制御が適切に行われていないことも多い。

まず、部屋の中央などの開放的な部分（床から約120cm高）と隅に温湿度計を設置する。また、湿気は下にこもりやすいことを念頭に、異なる高さの複数個所で温湿度を計測し、温湿度の分布をつかむ。その際温湿度計は、直射日光や空調機からの冷暖気のあたる場所を避けて設置する。特にまわりの環境を把握したい資料のある場合は、その資料の高さに近いところで温湿度を計測する。

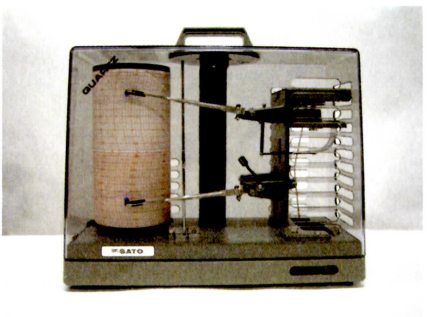


図6　毛髪温湿度計

(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

1.2. 水分・湿度の調整

Point

- **相対湿度を 60% RH 以下に保つ**
- **空気を動かし、部分的な温湿度のむらを解消する**
- **外気は温湿度を調整してから室内へ導入する**
- **密閉展示ケース内では調湿剤を利用する**

博物館などの展示収蔵スペースにおいて、恒常的にカビを制御するためには、相対湿度を 60% RH 以下に保つことが唯一の方法である。但し漆芸品などのように、低湿度環境ではひび割れや剥離などの劣化が引き起こされる素材もあり、また、急激な温湿度変化は多くの文化財素材にとって劣化の要因となり得るため、湿度設定は他の劣化要因も考慮の上、決定することになる。一般に日本では 50 ～ 60% RH の設定が多い。

しかし空調を湿度 60% RH に設定していても、空気の流れが滞っていると、部分的に 65 ～ 70%RH を超えることも珍しくない。床面や空調の冷気が直接あたる所、外壁に面した壁などの、結露しやすい場所は特に注意を要する。収納棚は壁に密着させないように設置し、一番下の棚板は床面より 10cm 以上上げることが望ましい。

場所による湿度差をつくらないためには、空調システムとともに、送風機や除湿機を使用し、空気を積極的に動かすことも一定の効果が望める。このとき風速計や棚に垂らしたひもの動きで、空気の流れを確認するとよい。

新鮮外気を導入する場合には、必ず温度を調節し、HEPA フィルター[註4)] を通してから室内へ供給することが望ましい。温度調節をしないまま外気を室内へ入れると、内外の温湿度差から、ダクト周囲や送風口、装置付近などに結露を生じてしまう。換気のみで、温湿度を調節できないダクトの場合は、ダンパー[註5)] を設置して換気を調節できるように改善し、冬季・夏季には閉めるようにする。

密閉された展示ケースには調湿剤を利用することができる。但し、密閉度が高くなければ、周辺環境と大幅に異なる湿度を維持することは難しい。調湿剤を入れた後も定期的な経過観察を怠らないようにする。

明らかな水漏れ、結露、湿度の上昇が起きているときは、すみやかに水分の供給源を絶つ。同時に、除湿機や送風機などを使って湿度を下げる。また、除湿機のタンクが満杯になった状態で放置するとその周囲が高湿度になるので、頻繁に廃棄するなど適切に管理する。

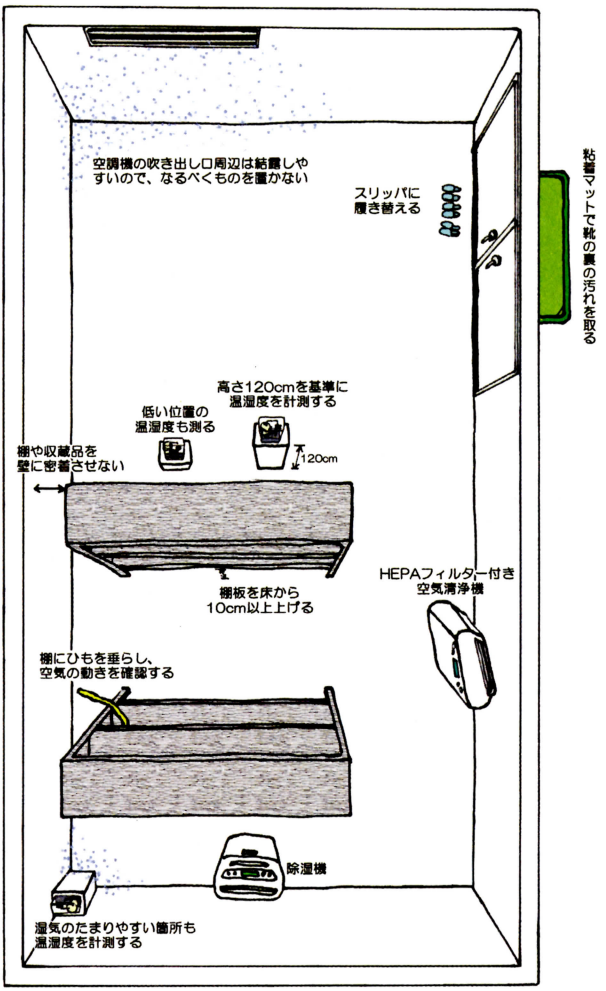


図７　収蔵庫内のレイアウト例

註４）HEPA フィルター
High Efficiency Particulate Air Filter。定格流量で粒径が 0.3 μmの粒子に対して 99.97％以上の粒子捕集率を持ち、かつ初期圧力損失（新品時のフィルターを空気が通過する際の抵抗によって生じる空気圧の差）が 245Pa（パスカル）以下の性能を持つエアフィルター（JIS Z8122）

註５）ダンパー
ダクトに設けられた羽根状や板状の扉で、空気の流れを調節する装置

(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

2. 展示収蔵室内空気の清浄化

Point

- **カビや埃を室内へ持ち込まない**
- **室内のカビの量を低減させる**
- **室内や収蔵棚を清掃する**

カビは空気の流れにのって拡散するため、室内空気の清浄化を進めることにより、自ずとカビの量を減らすことができる。

まず、収蔵庫などに入るときは以下の対策をとり、カビや埃の持ち込みを減らす。

・入口に粘着剤付き除塵マットを敷く

・スリッパに履き替える

室内の空気を清浄に保つために収蔵庫内では、空調機にHEPAフィルターやそれに準じた性能を持つフィルターを組み入れる、空気清浄機[註6]を増設するなどの方法を取り入れる。新鮮外気を導入する際は必ずHEPAフィルターまたはそれに準じた性能を持つフィルターを通す。

部屋や棚などの清掃は、HEPAフィルター付き掃除機で行う。一般的な掃除機は、排気とともにカビの胞子を室内にまきちらしてしまうため使えない。

図8　HEPAフィルター付き掃除機

さらに、埃や手垢などの拭き取りや、可能な場合は、かたくしぼったぬれ布巾などで水拭きし、その後、から拭きや、場合によっては70%エタノール水溶液[註7]で拭いて仕上げる。またこの方法を行った個所では、十分な換気など、水分を残さない工夫を講じなければならない。特に素地のままの木製棚などを水拭きする際は、吸水性などをよく検討してから行う。カバー布などは定期的に洗濯する。作業中、作業後にはHEPAフィルター付き空気清浄機を稼働するとよい。

註6）空気清浄機は、フィルター式の他に、イオン発生方式、熱により薬剤を蒸散させる殺菌方式など、様々な方式がある。しかし、化学物質を発生・放出するものは、文化財展示収蔵空間での使用には向かない。また、高熱を使用する方式のものは、火災の危険性がないか、安全性を考慮しなければならない。したがって、単純なフィルターによる除去方式の空気清浄機が、現在のところ無難であると考えられる。

註7）重量パーセント(w/w%)。無水エタノール700gに精製水300gを加える。容量パーセント(v/v%)の場合は、830mlの無水エタノールに精製水を加え全量を1000mlにする。（日本薬局方）

(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

3. 見回りと点検

Point

- **見回りと目視点検を定期的に行う**
- **点検対象と頻度をルール化する**
- **設備や機械の稼働状況を定期的に確認する**
- **斜光線で資料を点検、観察する**
- **拡大鏡でカビを確認する**

日常の見回りと点検は、カビやその他の異常の早期発見に有効である。白い紙などの上で目視点検を行なうと異常を発見しやすい。但し、資料の内側や裏側などは、担当者が時間をかけた定期点検を行うこととし、むやみに手を触れないようにする。

資料の点数が多く、全点の定期的な点検が不可能な場合は、漆器収蔵庫のように湿度を高めに設定している部屋だけでも定期点検し、その他は貸出の前後に必ず点検をするなど、ルールをつくる。

また、梅雨や積雪などにより多湿となる時期には、除湿機や送風機などの稼働状況と温湿度の分布を確認し、カビの発生を未然に防ぐようにする。また、建物の新築・増改築時もカビが発生しやすいので注意する。

虫トラップによる生物生息調査で、チャタテムシ目が多く捕獲されているときは、その周辺にカビの発生が疑われる。チャタテムシ目はカビを餌とするため、カビと一緒に発生することが多いためである。

点検の結果、資料に白色、黒色、褐色、緑色、赤色などの斑点、綿状の小さなかたまりなどが観察された場合、カビの発生が疑われる。

図９　染色品に生えた黒色のカビ

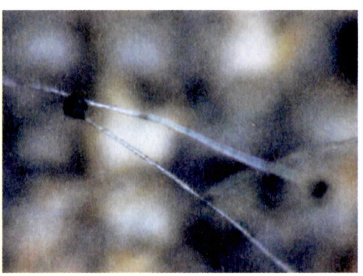


図 10　拡大写真（100 倍）

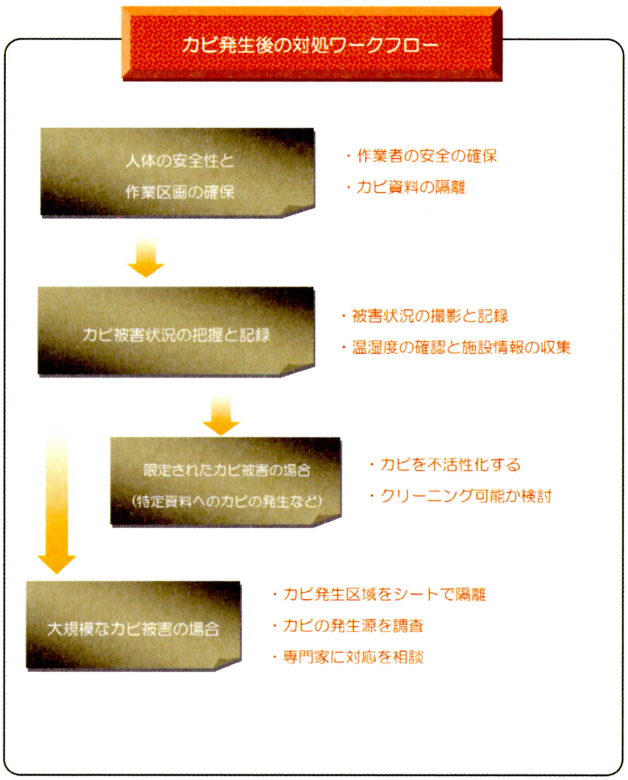
カビの色はその胞子の色によることが多く、菌糸は白色や透明である場合が多い。点検の際はペンライトを用い斜光線で観察すると、菌糸体に陰影ができて発見しやすくなる。また、LED 光源の白色または青白色を当てると、透明な菌糸体にわずかの蛍光発色が生じるため発見しやすくなる。

カビが活発に繁殖しているときには湿っぽさと特有のカビ臭さがある。乾燥して不活性な状態になると、臭いはさほど強くなくなり、粉をふいたような汚れに見えることがある。拡大鏡や顕微鏡で 20 倍～ 100 倍程度の倍率で観察すると、カビであれば、コロニーの中心部から放射状に菌糸が伸びているのを観察できることが多い。

(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

4. カビ発生時の対処

カビの発生した資料を発見したら、まず作業者の安全を確保し、その後資料を隔離する。そして、カビが生えた原因を特定し、水分の供給源を絶つ。これらを第一段階として迅速に行い、その上で可能な処置を講じる。



4.1. 人体の安全と作業場所の確保

Point

- **作業者の安全を確保する**
- **カビの発生した資料を隔離する**
- **隔離スペースの外へカビを持ち出さない**
- **大規模な被害時は保健所、防除専門家へ相談する**

カビの発生を確認したら、まず作業者の安全を確保する。必ず呼吸用のマスク（カビの胞子を除去できる性能を持つもの）、ラテックス製などの使い捨ての手袋、保護メガネ、作業服、帽子、靴カバーなどを装着する。

図 11　手袋、保護メガネ、作業服、帽子、靴カバーなどを装着する

その上で、カビの除去作業を行う場所を確保し、カビの発生した資料を隔離する。スタッフが頻繁に出入りしない場所や、他の資料をカビで汚染しないスペースを選ぶ。また、施錠可能な部屋など、資料の安全性を確保できる区画でなければならない。

カビに汚染された資料専用のドラフト[註8)]を用意することが望ましいが、難しければ、作業場所を透明なポリエチレンシートで区画し、除湿機やHEPAフィルター付きの吸入装置や空気清浄機などを稼働しながら作業をする。但し、資料が蒸れて被害が進むことの

(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

ないよう注意する。屋内で作業区画の確保が難しい場合は、屋外の換気のよい場所で作業を行う。

作業終了後は、作業者に付着したカビを極力持ち出さないようにする。使い捨てにできるものはポリ袋に密閉して建物外部のゴミ置き場に出し、作業着などはブリーチ剤などにつけて洗濯する。手洗い、うがい、洗顔などを行い、カビをできるだけ落とす。

大規模な被害で病原性が心配な場合は、保健所に対応を相談するか防除専門家に作業を依頼する[註9]。

虫はカビをまき散らし、その死骸はカビの栄養分となるので、進行中の虫害がある場合は、個体数を減らす処理、忌避処理などを優先して行う。

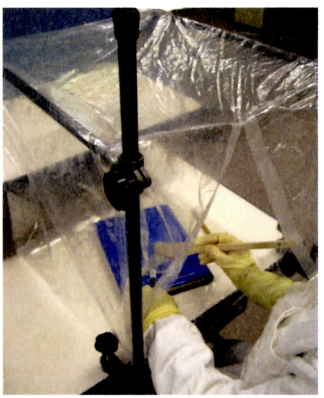


図 12　シートで作業場所を区画し、HEPA フィルター付きの掃除機で作業をする

4.2. カビの被害状況の把握と記録

Point

- **被害状況の撮影と記録**
- **温湿度の確認と施設の情報を収集する**

カビの生えた資料を作業区画に隔離したのち、被害の範囲と程度（カビの被覆状況、資料への着色の有無など）を記録し、記録写真を撮影する。同時に温湿度の確認、資料の収

納状況、施設平面図など、カビの処置や環境改善の際に必要となる基礎資料・情報を収集する。必要に応じて、滅菌綿棒やセロハンテープなどで付着菌の採取を行う。

4.3. 特定の資料へのカビの発生など、被害が限定されている場合

Point

- **カビを不活性な状態にする**
- **クリーニング可能か否かを判断する**

次に、カビが素材のごく表面の汚れや埃に生えているのか、素材に影響を及ぼしているのかを確認する。表面的なカビ害を除き、資料の素材深部にカビが達している可能性が高く、素材が分解され脆くなっているので、専門家に任せた方がよい。彩色されたもの、コーティングされたものも専門家に相談する。

次に、カビが活発に生育しているのか、不活性な状態なのかを見極める。活発な状態の湿ったカビを無理に落とそうとすると、かえって汚れを強く付着させる場合があるので、最初に湿度の低い場所で乾かしてカビを不活性な状態にし、払い落としやすくする。

但し材質によっては、急激な乾燥によってダメージが生じる場合もあるので注意を要する。少量の場合は、ドラフトのなかで乾かす例もある。水害にあった文書などは脆くなっているため、凍結乾燥を選択する場合が多い。

カビの乾燥～除去～殺菌の一連の作業は、資料の材質や状態によっては非常にデリケートな作業であるため、堅牢なもの以外は基本的に専門家に相談する。

表面が堅牢な資料で、除菌可能な場合には、以下のように処置を進める。

①カビを適切な方法で乾かし、不活性な状態にする

②資料の破片を吸い込まないよう、ガーゼなどを吸い込み口に装着したHEPAフィルター付き掃除機などで慎重に吸引しながら、やわらかな筆ではらう。このとき、吸入口を直接資料に接触させない。

③70% volumeエタノール水溶液でテストした後、色落ちやつや引けなどの問題が起きない資料に対しては、綿棒などに浸して、カビを取り除く。

(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

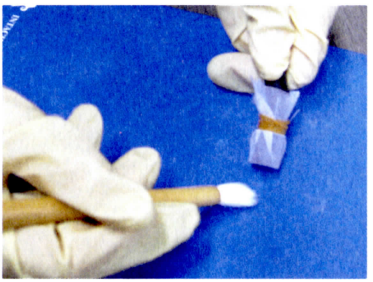


図 13　HEPA フィルター付き掃除機のノズルにガーゼを付け、吸引しながらカビを筆で払う

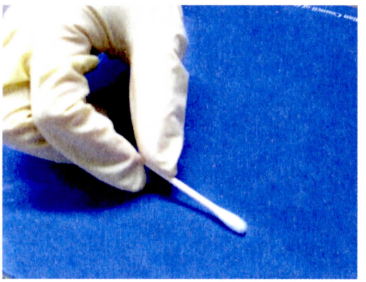


図 14　綿棒に 70% のエタノール水溶液を少量浸し、カビを殺菌する

4.4. 大規模な被害の場合

Point

- **カビの発生した区域をシートで隔離する**
- **カビの発生源を調べる**
- **温湿度の管理を徹底する**
- **対処法を検討する**

まず、ポリエチレンシートなどで区画を分け、カビの発生した区域をできるだけ隔離し、他の資料にカビが移らないようにする。

次にカビの発生源を突き止める。壁面、床面、天井などの結露や水漏れをくまなく調べる。

さらにカビが発生している区画で湿度と温度を調べる。施設が低地や水辺にある、地下水位が高いなどの立地条件では、室内に湿気だまりが生じやすくなる。その場合は建物そのものの防湿能力も見直す。

空調機内部の熱交換コイルやダクト内でカビが発生しているときには、室内を調べても原因が発見できないことがある。その場合は室内の湿度を下げると同時に、空調機の清掃と殺菌が必要となる。

化学物質によるガス燻蒸は、カビへの水分の供給源を除去し、湿度をコントロールするなどしてもなお、状況が改善されない場合に限り、可能か否かを検討する。また、施設そのものの漏水や除湿機能の故障などが、大規模なカビ害の原因となっていることも多い。

ガスが外部へ漏れ出る危険性も考慮し、収蔵庫全体のガス燻蒸は慎重に決定されるべきである。

註 8）ドラフト
有害物質や有害微生物を扱う実験を行う際などに安全のため使用する、排気機構の付いた装置。通常、前面が上下にスライドするガラスか樹脂製の窓になっており、下方を少し開け、そこから手を入れて作業をする。ドラフトチャンバー。

註 9）健康に被害を及ぼすカビを含むカビの汚染への対応法の例は New York City Department of Health によるガイドラインに詳しく述べられている

(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

5. 殺菌・燻蒸について

5.1 殺菌剤について

Point

- **殺菌剤の人体有毒性、資料への影響を理解する**
- **使用前に目立たない場所でテストをする**
- **使用後に水分を残さない**

殺菌剤は、燻蒸を選択しなかった場合に、カビを不活性にして払い落とした後、カビの生えた資料周辺の設備や、可能であれば資料そのものをクリーニングする際に使用する。いずれの薬剤も、人体毒性や資料への影響などが指摘されており、取り扱いや保管には充分注意する。作業中は、防具の装着と換気を徹底する。

資料や作品を殺菌剤で処理する前には、色が落ちたり光沢が変化したりしないか、類似の素材や資料の目立たない場所で必ずテストをする。また、水溶液で用いた場合は、水分を残すと新たなカビ被害の発生源となり得るので、処置後の換気を充分に行う。

以下に、資料・作品、および収蔵環境に使用されてきた主な殺菌剤をあげる。

エタノールなどのアルコール類

エタノールは、微生物の細胞膜へ浸透し、細胞膜の破壊、脱水とタンパク質の溶出や変性を起こすことにより殺菌効果を発揮する。70% volume エタノール水溶液のときが最も細胞への浸透性が高くなり、高い殺菌力を発揮するといわれる。エタノールは引火性なので、保管に注意する。

イソプロピルアルコールは殺菌効果はあるが、吸入した際人体への毒性がエタノールより高い。エタノールの ACGIH TLV-TWA[註10] は 1,000ppm、イソプロピルアルコールは 200ppm である。（TLV 数値は、沼田雄志 訳・編「2008 ACGIH 科学と物理因子の TLVs® & 化学物質の BEIs®」（2008）日本作業環境測定協会 より引用。）

ホルムアルデヒド・ホルマリン

ホルムアルデヒド１～５%溶液で真菌、細菌、原生動物に対し効果を示す。これは、ホルムアルデヒドの ACGIH TLV-C[註11]0.3ppm と比較するとかなりの高濃度である。燻

蒸にも高濃度で用いる必要があり、発ガン性を含め、人体や環境に及ぼす危険性が非常に高いことから、平成 20 年に厚生労働省より「特定化学物質第 2 類」に指定されている。色材への影響も懸念されており、今後の使用は慎重に検討する必要がある。ホルマリンは 35 ～ 38%ホルムアルデヒド水溶液。

チモール

有機化合物の一種であるチモールは、防カビ剤、あるいは殺菌剤として、ガス状にして文化財へ使用した例が過去には多く報告されている。しかし、殺菌効果について疑問の声があり、また樹脂などを軟化させること、紙資料の変色、長期間臭いが残ることなどの問題点が指摘されている。現在、文化財にはあまり使用されなくなっているが、市販の衣類用防虫剤や塗料に混ぜて使用されている。チモールについては労働安全の視点からの許容濃度は未設定である。

5.2. 燻蒸について

Point

- **殺菌燻蒸剤に予防効果はない**
- **燻蒸剤の人体有毒性、資料への影響を理解する**
- **燻蒸後でもカビは一点ずつ取り除く**

燻蒸は、密閉空間でガス状の薬剤を用いて資料を処理し、カビを殺す方法である。適切なやり方で処置を行えば、殺菌効果は高い。

しかし、原則として薬剤は資料に残留しないため、殺菌燻蒸を行うことに予防効果は期待できない。カビの胞子は通常の空間ではどこにでも存在し、殺菌燻蒸でいったんは殺菌できても、生育環境が整えばすぐにまたカビは発生する。適切な温湿度を保ち、清浄な環境を整備しない限り、再加害を防ぐことはできないのである。

カビの有無にかかわらず、殺虫殺菌のために収蔵庫などの燻蒸をする施設もあるが、一般に、殺菌は殺虫よりも、高濃度で燻蒸する必要がある。

たとえば、酸化エチレンとテトラフルオロエタン混合剤（商品名エキヒュームＳ®）

(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

の場合、殺菌濃度は、殺虫濃度の約２～３倍、暴露時間も長くする必要がある。殺菌燻蒸剤には、発ガン性が明らかにあるか、疑われている物質が多くあり、自然史標本などのDNA 解析にも悪影響を及ぼすことが指摘されている。殺菌のための燻蒸の方が、殺虫のための燻蒸よりも、人体や文化財への薬害の懸念ははるかに高くなるのである。したがって近年では、よほどの被害のケースを除き、燻蒸を行わないのが一般的になりつつある。

さらに、殺菌燻蒸剤の多くは資料や壁などにしばらく吸着するため、労働安全のための管理濃度や許容濃度以下になるまでガス抜きを行うのは、収蔵庫などでは困難な場合も多い。燻蒸作業は、充分にガス抜きの換気ができる燻蒸装置内などで行うべきである。

殺菌燻蒸を行うかどうかを決める際の重要な判断材料は、被害の規模であろう。人体への危険が避けきれないほどの被害や、処置の手が届かないほど深くまで、あるいは、広範囲にカビに汚染されている場合は、処置を待つ間に胞子が飛散し、他の資料へ移る危険性が高いため、すべてを殺菌することが重要な意味を持つ。

カビが生えていなくても殺菌燻蒸の必要があるとすれば、外国の民俗資料を国内に持ち込む場合などの特殊な場合に限られる。

カビが一度生えてしまったら、燻蒸をするしないにかかわらず、基本的に一点一点カビを除去しなくてはならない。たとえ死滅したカビであっても、そのままにしておけば表面が保湿層となり、新たな栄養源となって次の被害を招きやすくなる。また、カビの粉塵による人体への影響も懸念される。

註 10）ACGIH TLV-TWA
米国産業衛生専門家会議（ACGIH = American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc.）による、１日８時間、週 40 時間労働での時間加重平均許容暴露限界値。1ppm（パーツパーミリオン）= 0.0001%

註 11）ACGIH TLV-C
米国産業衛生専門家会議による、被曝上限界値。作業中、瞬間的にでも越えてはならないとされる被爆濃度。

(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

まとめ

カビの根本的な予防策は、「温湿度の管理」と「展示収蔵室内の清浄化」である。この２つを確実に行わなければ、虫菌のモニタリングや殺菌燻蒸をしても、根本的な解決にはならない。

そのためはまず、施設全体でカビ対策に取り組む体制をつくることが重要である。保存担当職員だけでなく、全職員が研修などに積極的に参加し、人体や資料へ与えるカビの影響や、多様な対処法を身に付けるようにする。また、施設管理者や展示室の監視員にも協力を仰ぎ、温湿度の監視と設備の点検を怠らないようにする。

施設によっては、空調など設備の性能があまりよくなかったり、大幅な設備の改善が予算的に難しい場合もある。しかし、収蔵棚の配置を見直して空気の流れを改善し、清掃作業を容易に行えるようにすることや、市販の除湿機や空気清浄機を導入するなど、低予算で可能な対策を講じることから、カビ対策を始めることが重要である。

参考文献

木川りか，間渕創，佐野千絵　文化財展示収蔵施設におけるカビのコントロールについて「文化財保存修復学会誌　Vol.48」pp.98-113（2004）

木川りか　文化財の生物劣化における材質と加害生物の関係　「文化財保存修復学会誌 Vol.48」pp.114-124（2004）

木川りか・佐野千絵・石崎武志　殺虫 / 殺菌処理、防虫剤などについての緊急アンケート調査結果について　「保存科学　第 48 号」pp.233-240（2009）東京文化財研究所

間渕創，木川りか，佐野千絵　各種燻蒸剤・殺虫剤・防虫剤・殺菌剤・防黴剤等の人体への影響一覧　「文化財保存修復学会誌　Vol.47」pp103-118（2003）

「木川りか先生　講演記録　文化財の虫菌害対策 ～状況／環境に即した段階的プログラム～」（2008）文化財保存支援機構

木川りか　書籍・資料のカビとその対策　「アジア古籍保全講演会記録集（第 1 回～第 3 回）」pp.227-248（2008）東京大学東洋文化研究所図書室

村井澤夫，荒井基夫　共編　「応用微生物学　改訂版」（1993）培風館

大槻虎男　書籍の紙布、糊料などとカビについて　「書籍・古文書等のむし・カビ害 保存の知識」pp.93-126（1983）文化財虫害研究所

林康夫　微生物の基礎知識　「文化財の虫菌害と防除の基礎知識」pp.84-110（2002）文化財虫害研究所

新井英夫　文化財の微生物による被害と対策　「文化財の虫菌害と防除の基礎知識」pp.111-143（2002）文化財虫害研究所

新井英夫　書籍、古文書等の微生物被害とその対策　「書籍・古文書等のむし・カビ害 保存の知識」pp.1-24（1983）文化財虫害研究所

山崎眞司　「微生物のおはなし」（1996）日本規格協会

文化財虫害研究所東京文化財研究所編「文化財害虫事典」（2001）クバプロ

「カビ対策マニュアル」（2008）文部科学省　「カビ対策マニュアル」作成協力者会議

「文化財の燻蒸処理標準仕様書」2007 年改訂版

「学芸員による学芸員のための むし・かび 対策ノート」（2006）全国美術館会議保存研究会　虫菌害対策班

(c) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo 2010

Thomas J.K. Strang, John E. Dawson "Technical Bulletin12 Controlling Museum Fungal Problems" (1991) Canadian Conservation Institute

Sherry Guild, Maureen MacDonald "Technical Bulletin26 Mould Prevention and Collection Recovery: Guidelines for Heritage Collections" (2004) Canadian Conservation Institute

Tom Strang, Rika Kigawa "Technical Bulletin29 Combatting Pests of Cultural Property" (2009) Canadian Conservation Institute

Michalski S. "Relative Humidity: A Discussion of Correct / Incorrect Values" (1993) 10th Triennial Meeting Washington, DC, USA Vol.II, pp.624-629, ICOM Committee for Conservation

G.Caneva, M.P.Nugari, O.Salvadori "La Biologia nel Restauro" (1994) Nardini Editore

G.Caneva, M.P.Nugari, O.Salvadori "La Biologia Vegetale per i Beni Culturali" (2005) Nardini Editore

文化財展示収蔵施設におけるカビのコントロールについて

2010年3月31日発行

企画　© 独立行政法人 国立文化財機構　東京文化財研究所 文化遺産国際協力センター
著者　木川りか　間渕創　佐野千絵（東京文化財研究所 保存修復科学センター）
編集人　清水真一（東京文化財研究所 文化遺産国際協力センター長）
友田正彦（東京文化財研究所 文化遺産国際協力センター 保存計画研究室長）
監修　東京文化財研究所 保存修復科学センター
Tom Strang（Canadian Conservation Institute）
編集　廣野幸（東京文化財研究所 文化遺産国際協力センター）
小原薫（絵画保存修復家）